

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-100838

(43)Date of publication of application : 05.04.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/343  
C30B 29/38  
H01L 33/00

(21)Application number : 2000-287291

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 21.09.2000

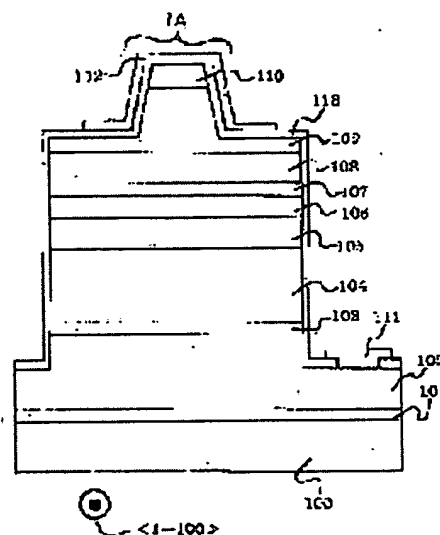
(72)Inventor : ARAKI MASAHIRO  
TSUDA YUZO

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND OPTICAL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting element having little color blur of luminescence and high luminous efficiency.

SOLUTION: The nitride semiconductor light-emitting element contains a luminescent layer 106, having a quantum well structure made up of alternately laminated quantum well layers and barrier layers. The quantum well layer consists of a nitride semiconductor which includes at least In. The barrier layer consists of the nitride semiconductor layer which includes at least As, P or Sb.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-100838

(P2002-100838A)

(43) 公開日 平成14年4月5日(2002.4.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	D 5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-287291(P2000-287291)

(22) 出願日 平成12年9月21日(2000.9.21)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 荒木 正浩

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 津田 有三

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74) 代理人 100064746

弁理士 深見 久郎

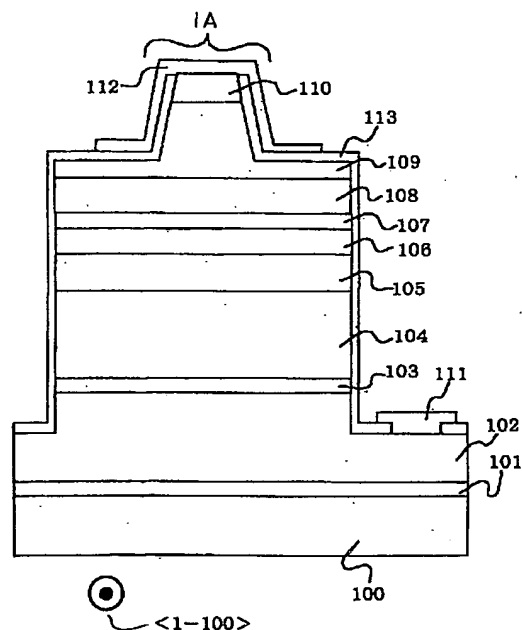
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子とそれを含む光学装置

(57) 【要約】

【課題】 発光の色斑が少なくかつ発光効率の高い窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子は、量子井戸層と障壁層とが交互に積層された量子井戸構造を有する発光層106を含み、その量子井戸層は少なくともInを含む窒化物半導体からなり、障壁層は少なくともAs、P、またはSbを含む窒化物半導体層からなることを特徴としている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 量子井戸層と障壁層とが交互に積層された量子井戸構造を有する発光層を含み、

前記量子井戸層は少なくともInを含む窒化物半導体層からなり、

前記障壁層は少なくともAs、P、またはSbを含む窒化物半導体層からなることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記窒化物半導体発光素子に含まれる複数の半導体層を成長させるための基板を含み、前記発光層の両主面のうちで前記基板に近い第1主面に接する第1隣接半導体層と前記基板から遠い第2主面に接する第2隣接半導体層との少なくとも一方はAlを含む窒化物半導体からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記第1隣接半導体層または前記第2隣接半導体層と直接接しているのは前記井戸層であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 前記発光層は2層以上で10層以下の前記井戸層を含んでいることを特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 前記井戸層は0.4nm以上で20nm以下の厚さを有していることを特徴とする請求項1から4のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 前記障壁層は1nm以上で20nm以下の厚さを有していることを特徴とする請求項1から5のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 前記障壁層においてAs原子の添加量が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のAs原子含有率が20%以下であることを特徴とする請求項1から6のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項8】 前記障壁層においてP原子の添加量が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のP原子含有率が25%以下であることを特徴とする請求項1から6のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項9】 前記障壁層においてSb原子の添加量が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のSb原子含有率が15%以下であることを特徴とする請求項1から6のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項10】 前記井戸層と前記障壁層の少なくとも一方は、Si、O、S、C、Ge、Zn、Cd、およびMgから選択された少なくとも1種のドーパントが添加されていることを特徴とする請求項1から9のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項11】 前記ドーパントの添加量は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲内にあることを特徴とする請求項10に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項12】 前記発光素子はGaN基板を利用して形成されていることを特徴とする請求項1から11のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項13】 請求項1から12のいずれかの項に記載された前記窒化物半導体発光素子を含むことを特徴とする光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光効率の高い窒化物半導体発光素子とこれを利用した光学装置に関するものである。

## 【0002】

10 【従来の技術】従来から、窒化物半導体は、発光素子やハイパワー半導体デバイスとして利用または研究されている。窒化物半導体発光素子の場合、その発光層に含まれる井戸層はインジウムを含有するInGaNであり、そのIn含有率を調整することにより、青色から橙色までの広い色範囲内の発光素子を作製することができる。近年では、その窒化物半導体発光素子の特性を利用して、青色や緑色の発光ダイオードや、青紫色の半導体レーザーなどが開発されている。

## 【0003】

20 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、少なくともInを含む窒化物半導体量子井戸層を利用して発光素子を作製する場合、Inを含む窒化物半導体は化学的熱平衡状態が非常に不安定であることから、In含有率の高い領域と低い領域とに相分離（濃度分離）されやすく、これが発光素子の発光色斑の要因となっている。また、濃度分離によるIn含有率の高い領域は非発光領域になりやすく、このことが発光効率の低下をも招いている。

30 【0004】そこで、本発明では、少なくともInを含有する窒化物半導体からなる量子井戸層を含む窒化物半導体発光素子において、その井戸層の相分離を抑制することによって、その発光色斑を防止しかつ発光効率を向上させることを主目的としている。

## 【0005】

40 【課題を解決するための手段】本発明によれば、窒化物半導体発光素子は、量子井戸層と障壁層とが交互に積層された量子井戸構造を有する発光層を含み、量子井戸層は少なくともInを含む窒化物半導体からなり、障壁層は少なくともAs、P、またはSbを含む窒化物半導体層からなることを特徴としている。

50 【0006】このように、光を発する作用を生じる発光層は量子井戸層と障壁層とを含んでおり、量子井戸層は障壁層に比べて小さなエネルギーバンドギャップを有している。

【0007】窒化物半導体発光素子は基板を含み、発光層の両主面のうちでその基板に近い第1主面に接する第1隣接半導体層と基板から遠い第2主面に接する第2隣接半導体層との少なくとも一方は、Alを含む窒化物半導体からなることが好ましい。第1隣接半導体層または第2隣接半導体層と直接接しているのは、量子井戸層で

あることが好ましい。

【0008】発光層は、2層以上で10層以下の井戸層を含んでいることが好ましい。量子井戸層は、0.4nm以上で20nm以下の厚さを有していることが好ましい。障壁層は、1nm以上で20nm以下の厚さを有していることが好ましい。

【0009】障壁層においては、As原子の添加量は $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のAs原子含有率が20%以下であることが好ましい。また、障壁層において、P原子の添加量は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のP原子含有率が25%以下であることが好ましい。さらに、障壁層において、Sb原子の添加量は $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上でありかつV族元素中のSb原子含有率が15%以下であることが好ましい。

【0010】井戸層と障壁層の少なくとも一方は、Si、O、S、C、Ge、Zn、Cd、およびMgから選択された少なくとも1種のドーパントが添加されていることが好ましい。そのようなドーパントの添加量は、 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲内にあることが好ましい。

【0011】窒化物半導体発光素子の基板材料としては、GaNが好ましく用いられ得る。以上のような窒化物半導体発光素子は、光情報読出装置、光情報書込装置、光ピックアップ装置、レーザプリンタ装置、プロジェクタ装置、表示装置、白色光源装置などの種々の光学装置において好ましく用いられ得るものである。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態のより具体的な例として、種々の実施例が以下において説明される。

【0013】一般に、窒化物半導体結晶層を成長させる際には、GaN、サファイア、 $6\text{H-SiC}$ 、 $4\text{H-SiC}$ 、 $3\text{C-SiC}$ 、Si、スピネル ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) などが基板材料として用いられる。GaN基板と同様に、窒化物半導体からなる他の基板をも用いることもでき、たとえば $\text{B}_w\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  ( $0 \leq w \leq 1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $w+x+y+z=1$ ) 基板を用いることもできる。窒化物半導体レーザの場合では、垂直横モードの単峰化のためにはクラッド層よりも屈折率の低い層がそのクラッド層の外側に接している必要があり、 $\text{AlGaInN}$ 基板を用いることが好ましい。また、 $\text{B}_w\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 基板のNが約10%以下の範囲内でAs、P、またはSbのいずれかの元素で置換されてもよい。さらに、Si、O、Cl、S、C、Ge、Zn、Cd、Mg、またはBeが基板にドーピングされてもよい。n型窒化物半導体基板のためには、これらのドーピング剤のうちでSi、O、およびClが特に好ましい。

【0014】以下の実施例においては上述のような基板のうちで主にサファイア基板と窒化物半導体のC面{0

001}基板について説明されるが、その基板の主面となる面方位としては、C面のほかに、A面{11-20}、R面{1-102}、またはM面{1-100}を用いてもよい。また、それらの面方位から2度以内のオフ角度を有する基板であれば、その上に成長させられる半導体結晶層の表面モフォロジが良好になる。

【0015】窒化物半導体結晶層を成長させる方法としては、有機金属気相成長法(MOCVD)、分子線エピタキシ法(MBE)、ハイドライド気相成長法(HVPE)などが一般的に利用される。これらの中でも、作製される窒化物半導体層の結晶性や生産性を考慮すれば、基板としてはGaNまたはサファイアを使用し、結晶成長方法としてはMOCVD法を利用するのが最も一般的である。

【0016】(実施例1)以下において、本発明の実施例1による窒化物半導体レーザダイオード素子が、図1を参照しつつ説明される。

【0017】図1の模式的な断面図に示された実施例1による窒化物半導体レーザダイオード素子は、C面(0001)サファイア基板100、GaNバッファ層101、n型GaNコンタクト層102、n型 $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド防止層103、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層104、n型GaN光ガイド層105、発光層106、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 遮蔽層107、p型GaN光ガイド層108、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層109、p型GaNコンタクト層110、n型電極111、p型電極112、および $\text{SiO}_2$ 誘電体膜113を含んでいる。すなわち、本実施例では、サファイア基板上にバッファ層、マイナス電荷の電子を供給するn型層、発光層、そしてプラス電荷の正孔を供給するp型層の順でレーザ構造が作製される。

【0018】図1のレーザダイオード素子を作製する場合、まずMOCVD装置内へサファイア基板100をセットし、V族元素のN用原料としての $\text{NH}_3$ (アンモニア)とIII族元素のGa用原料としてのTMGa(トリメチルガリウム)を利用して、比較的低い550℃の基板温度の下でGaNバッファ層101を25nmの厚さに成長させる。次に、上記のN用とGa用の原料に加えて $\text{SiH}_4$ (シラン)をも添加して、1050℃の温度の下でn型GaNコンタクト層102(Si不純物濃度: $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ )を3μmの厚さに成長させる。続いて、基板温度を700℃ないし800℃程度に下げ、III族元素のIn用原料としてTMIn(トリメチルインジウム)を利用して、n型 $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド防止層103を40nmの厚さに成長させる。再び基板温度を1050℃に上げて、III族元素のAl用原料としてTMA1(トリメチルアルミニウム)を利用して厚さ0.8μmのn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層104(Si不純物濃度: $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ )を成長させ、続いてn型GaN光ガイド層105

(Si不純物濃度： $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ )を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに成長させる。

【0019】その後、基板温度が $800^\circ\text{C}$ に下げられ、厚さ $8 \text{ nm}$ のGa $_{0.99}$ P $_{0.01}$ 障壁層の複数と厚さ $4 \text{ nm}$ のIn $_{0.18}$ Ga $_{0.82}$ N井戸層の複数とが交互に積層された多重量子井戸構造を有する発光層106を形成する。この実施例では、発光層106は障壁層で開始して障壁層で終了する多重量子井戸構造を有し、3層(3周期)の量子井戸層を含んでいる。これらの障壁層と井戸層の成長の際には、それらの両方が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のSi不純物濃度を有するように、SiH $_4$ が添加された。なお、障壁層と井戸層の成長の間または井戸層と障壁層の成長の間に、1秒以上で180秒以下の成長中断期間を挿入してもよい。こうすることによって、障壁層と井戸層の平坦性が向上し、発光半値幅を小さくすることができる。

【0020】発光層106を形成した後は、基板を再び $1050^\circ\text{C}$ まで昇温して、厚さ $20 \text{ nm}$ のp型Al $_{0.2}$ Ga $_{0.8}$ N遮蔽層107、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のp型Ga $_{0.9}$ N光ガイド層108、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のp型Al $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ Nクラッド層109、および厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のp型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層110を順次成長させる。なお、p型不純物としては、EtCP $_2$ Mg(ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム)を利用して $5 \times 10^{19} \sim 2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の濃度でMgが添加され得る。

【0021】p型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層110におけるp型不純物濃度は、p型電極112との接合面に近づくに従って高められることが好ましい。そうすれば、p型電極との間のコンタクト抵抗がより低減され得る。また、p型層内におけるp型不純物であるMgの活性化を妨げる残留水素を除去するために、p型層の成長中に微量の酸素を混入させてもよい。

【0022】p型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層110の成長後、MOCVD装置のリアクタ内の全ガスを窒素キャリアガスとNH $_3$ に代えて、 $60^\circ\text{C}/\text{分}$ の冷却速度で温度を低下させる。基板温度が $800^\circ\text{C}$ に低下した時点でNH $_3$ の供給を停止し、その $800^\circ\text{C}$ の基板温度を5分間維持してから室温まで冷却させる。なお、このような一時的な基板の保持温度は $650^\circ\text{C}$ から $900^\circ\text{C}$ の範囲内であることが好ましく、保持時間は3分から10分の範囲内であることが好ましい。また、その保持温度から室温までの冷却速度は、 $30^\circ\text{C}/\text{分}$ 以上であることが好ましい。

【0023】こうして形成された成長膜の表面をラマン測定によって評価したところ、従来の窒化物半導体膜で利用されているp型化アニールを行なわなくても、成長直後において既にp型の特性を示していた。また、p型電極112を形成したときに、そのコンタクト抵抗も低減していた。これにp型化アニールを適用すれば、さらにMgの活性化率が向上する。

【0024】次に、MOCVD装置から取出したエピタキシャルウェハをレーザダイオード素子に加工するプロセスについて説明する。

【0025】まず、反応性イオンエッチング装置を用いてn型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層102の一部を露出させ、この露出部分上にHf/Auの順の積層からなるn型電極111を形成する。このn型電極111の材料としては、Ti/Al、Ti/Mo、Hf/Alなどの積層を用いることもできる。Hfは、n型電極のコンタクト抵抗を下げるのに有効である。p型電極部分では、サファイア基板100の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に沿ってストライプ状にエッチングを行ない、SiO $_2$ 誘電体膜113を蒸着し、p型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層110を露出させ、Pd/Auの順の積層を蒸着し、こうして幅 $2 \mu\text{m}$ のリッジストライプ状のp型電極112を形成する。このp型電極の材料としては、Ni/Au、またはPd/Mo/Auなどの積層を用いることもできる。

【0026】最後に、劈開またはドライエッチングを利用して、共振器長が $500 \mu\text{m}$ のファブリ・ペロー共振器を作製する。この共振器長は、一般に $300 \mu\text{m}$ から $1000 \mu\text{m}$ の範囲内にあることが好ましい。共振器のミラー端面は、サファイア基板のM面と一致するように形成される(図2参照)。劈開とレーザ素子のチップ分割は、図2中の破線2Aと2Bに沿って基板側からスクライバを用いて行なわれる。こうすることによって、レーザ端面の平面性が得られるとともにスクライバによる削り滓がエピタキシャル層の表面に付着しないので、発光素子の歩留りが良好になる。

【0027】なお、レーザ共振器の帰還法としては、ファブリ・ペロー型に限られず、一般に知られているDFB(分布帰還)型、DBR(分布ブラグ反射)型なども用い得ることはいうまでもない。

【0028】ファブリ・ペロー共振器のミラー端面を形成した後は、そのミラー端面にSiO $_2$ とTiO $_2$ の誘電体膜を交互に蒸着し、70%の反射率を有する誘電体多層反射膜を形成する。この誘電体多層反射膜としては、SiO $_2$ /Al $_2$ O $_3$ などの多層膜を用いることもできる。

【0029】なお、n型Ga $_{0.9}$ Nコンタクト層102の一部を反応性イオンエッチングを用いて露出させたのは、絶縁性のサファイア基板100が使用されているからである。したがって、Ga $_{0.9}$ N基板またはSiC基板のような導電性を有する基板を使用する場合には、n型Ga $_{0.9}$ N層102の一部を露出させる必要はなく、その導電性基板の裏面上にn型電極を形成してもよい。また、上述の実施例では基板側から複数のn型層、発光層、複数のp型層の順に結晶成長させているが、逆に複数のp型層、発光層、および複数のn型層の順に結晶成長させてもよい。

【0030】次に、上述のようなレーザダイオードチッ

ブをパッケージに実装する方法について述べる。まず、上述のような発光層を含むレーザダイオードがその特性を生かして高密度記録用光ディスクに適した青紫色（波長410nm）の高出力（50mW）レーザとして用いられる場合、サファイア基板は熱伝導率が低いので、放熱対策に注意を払わなければならない。たとえば、In半田材を用いて半導体接合を下側にしてチップをパッケージ本体に接続することが好ましい。また、パッケージ本体やヒートシンク部に直接にチップを取付けるのではなくて、Si、AlN、ダイヤモンド、Mo、CuW、BN、Cu、Au、Feなどの良好な熱伝導性を有するサブマウントを介して接合させてもよい。

【0031】他方、熱伝導率の高いSiC基板、窒化物半導体基板（たとえばGaN基板）、またはGaN厚膜基板（たとえば図14に示す基板1400の種基板1401を研削除去したもの）上に前述の発光層を含む窒化物半導体レーザダイオードを作製した場合には、たとえばIn半田材を用いて半導体接合を上側にしてパッケージ本体に接続することが好ましい。この場合にも、パッケージ本体やヒートシンク部に直接チップの基板を取付けるのではなくてSi、AlN、ダイヤモンド、Mo、CuW、BN、Cu、Au、Feなどのサブマウントを介して接続してもよい。

【0032】以上のようにして、発光層中の障壁層にAs、P、またはSbを含む窒化物半導体を用いたレーザダイオードを作製することができる。

【0033】次に、上述の実施例のレーザダイオードに含まれる発光層106に関連してさらに詳細に説明する。

【0034】Inを含む窒化物半導体（たとえば、InGaN）からなる井戸層を利用して発光素子を作製する場合、前述のように、Inを含む窒化物半導体は化学的熱平衡状態が非常に不安定であることから、In濃度の高い領域と低い領域に相分離（濃度分離）しやすく、このような濃度分離は発光素子の色斑の要因となる。さらに、濃度分離による高In濃度領域は非発光領域になりやすく、発光効率の低下の原因となる。したがって、Inを含む窒化物半導体井戸層の結晶性を改善することによって発光素子の歩留りを向上させることが望まれている。

【0035】そこで、本発明者たちは、Inを含む井戸層の詳細な解析を行なった。その結果、Inを含む窒化物半導体井戸層の濃度分離は、その井戸層からのN抜けによってIn原子同士が凝縮（偏析）することが原因になることがわかった。したがって、本発明では、少なくともInを含む窒化物半導体井戸層に接して、少なくともAs、P、またはSbを含有する窒化物半導体障壁層を設けることによってこの問題を解決しようとする。これは、V族元素のNよりも原子半径の大きな同族のAs、P、またはSbを障壁層に含有させることによ

て、井戸層からのN原子抜けを防止することができるからである。こうして、井戸層内でのIn偏析を抑制して濃度分離を防止することができる。

【0036】ここで、GaNまたはInGaNの窒化物半導体中のN原子の一部をAs、P、またはSbで置換したGaNAs、GaN<sub>P</sub>、GaN<sub>Sb</sub>、InGaNAs、InGaN<sub>P</sub>、またはInGaN<sub>Sb</sub>の結晶において、置換原子の含有率が大きくなれば、N含有率の高い六方晶系とN含有率の低い立方晶系（閃亜鉛鉱構造）とに相分離（結晶系分離）を生じる。N含有率の低い立方晶系は結晶粒界を形成し、N含有率の高い六方晶系とは結晶系が異なることに起因して、多くの結晶欠陥や粒界間の隙間を生じる。そして、障壁層において結晶粒界の割合が大きくなれば井戸層からのNが結晶欠陥や粒界間の隙間を通して抜けやすくなり、その結果として井戸層内でのIn偏析が顕著になってその濃度分離を抑制することができなくなる。すなわち、V族元素におけるN原子の割合が50%以下では立方晶系の閃亜鉛鉱構造が優勢になって結晶系の違いによる問題が生じるので、本発明における窒化物半導体障壁層ではV族元素におけるN原子の割合が50%以上であることが必要である。

【0037】ところで、本発明において、少なくともInを含む窒化物半導体井戸層の具体例としては、前述のように、たとえばInGaN、InAlGaNなどの井戸層が用いられ得る。これらの井戸層では、InとAlの含有率を最適化することによって、目的とする発光波長を得ることができる。他方、本発明において、少なくともAs、P、またはSbを含有する窒化物半導体障壁層としては、具体的には、たとえばGaNAs、InGaNAs、AlGaNAs、InAlGaNAsなどの障壁層が用いられ得る。これらの障壁層において、Asの少なくとも一部の代わりにPまたはSbを含有してもよい。また、本発明の発光層では、井戸層のエネルギーバンドギャップより障壁層のエネルギーバンドギャップの方が大きくなるように設定される。

【0038】障壁層の厚さは、1nm以上で20nm以下であることが好ましい。なぜならば、障壁層の厚さが1nmよりも薄ければ井戸層からのN抜けを防止することが難しくなるからである。また、障壁層の厚さが20nmよりも厚くなればその結晶性が低下し始めるので好ましくない。他方、障壁層と接する井戸層の厚さは、0.4nm以上で20nm以下であることが好ましい。なぜならば、井戸層の厚さが0.4nm以下になればその井戸層が発光作用を生じなくなるからである。また、井戸層の厚さが20nmよりも厚くなればその結晶性が低下し始めるからである。多重量子井戸構造によるエネルギーサブバンドを構成するためには障壁層の厚さは井戸層の厚さと等しいかそれより薄い方が好ましいが、井戸層の濃度分離を防止するためには井戸層の厚さと同じかそれより厚い方が好ましい。

【0039】図3は、発光層（多重量子井戸構造）に含まれる井戸層数とレーザしきい値電流密度との関係を示している。このグラフにおいて、○印と●印は、それぞれサファイア基板上とGa<sub>0.5</sub>N基板上に形成された本発明によるレーザダイオードにおけるレーザしきい値電流密度を表わしている。また、△印は、サファイア基板上に形成された従来のレーザダイオードにおけるしきい値電流密度を表わしている。図3から明らかなように、サファイア基板上またはGa<sub>0.5</sub>N基板上に形成された本発明によるレーザダイオードのいずれにおいても、従来のレーザダイオードに比べて発振しきい値電流密度が低減されることがわかる。これは、サファイア基板とGa<sub>0.5</sub>N基板のいずれを用いる場合にも、本発明において井戸層中のInの濃度分離を抑制できたからである。ところで、本発明によるレーザダイオードにおいて、サファイア基板を用いた場合に比べてGa<sub>0.5</sub>N基板を用いた場合の方が発振しきい値電流密度が低減している。これは、Ga<sub>0.5</sub>N基板においては半導体層の成長がホモエピタキシャル成長になるので、成長した半導体層中の転位密度や格子歪がサファイア基板を用いた場合に比べて小さくなることによると考えられる。本発明による発光層に含まれる井戸層の数に関しては、井戸層数が10層以下のときにしきい値電流密度が10kA/cm<sup>2</sup>より低くなって、室温において連続発振した。図3から明らかなように、発振しきい値電流密度をさらに低減するためには、井戸層の数は2層以上で5層以下であることが好ましい。

【0040】発光層の不純物の添加に関しては、本実施例のレーザダイオードでは井戸層と障壁層の両方に不純物としてSiH<sub>4</sub>（Si）を添加したが、片方の層のみに添加してもよいし、両層ともに添加されなくてもレーザ発振は可能である。ただし、発振しきい値電流密度は不純物を添加した方が低くなった。また、フォトルミネッセンス（PL）測定によれば、井戸層と障壁層との両方にSiH<sub>4</sub>を添加した場合に、添加しない場合に比べてPL発光強度が約1.2倍から1.4倍程度強くなった。このことから、発光層中にSiH<sub>4</sub>などの不純物を添加する方が好ましいと考えられる。これは、添加された不純物が結晶成長のための核を形成し、その核を基に結晶が成長するので、発光層の結晶性が向上するからであると考えられる。本実施例ではSi（SiH<sub>4</sub>）を1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>の濃度で添加したが、Si以外にO、S、C、Ge、Zn、Cd、Mgなどを添加しても同様の効果が得られる。また、これらの添加原子の濃度は約1×10<sup>16</sup>～1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>程度が好ましい。特に、窒化物半導体基板と異なるサファイア基板から出発して結晶成長を進める場合には、結晶欠陥が多く（貫通転位密度が約1×10<sup>10</sup>/cm<sup>2</sup>）なる傾向にあるので、発光層中に不純物を添加して結晶性を向上させる方が好ましい。

【0041】発光層106上には、p型AlGa<sub>0.5</sub>N遮蔽

層107とp型層108がこの順に積層するように設けられている。このp型層108は、レーザダイオードの場合にはp型光ガイド層に対応するが、発光ダイオードの場合にはp型クラッド層またはp型コンタクト層に対応する。

【0042】PL測定によれば、遮蔽層107がない場合とある場合との比較では、遮蔽層がある場合の方が設計発光波長からのシフト量が小さくてPL発光強度も強かった。特に、多重量子井戸構造を有する発光層106が井戸層で開始して井戸層で終了する図4（b）の構造を有する場合に、遮蔽層107の効果が顕著に認められた。また、井戸層がInAlGa<sub>0.5</sub>Nである場合に比べてInGa<sub>0.5</sub>Nである場合に、遮蔽層の効果がより顕著であった。この理由は必ずしも明らかではないが、発光層の両端層としての井戸層がAlの添加されていないInGa<sub>0.5</sub>Nである場合にAlを含む遮蔽層による保護効果が顕著に観察されるのであると考えられる。すなわち、Alは反応性が高く結合力が強いので、それを含む遮蔽層を設けることによって、発光層に比べて高い成長温度を要するp型層の成長時に井戸層からのN抜けを抑制しているためであろうと考えられる。

【0043】以上のことから、遮蔽層107は、少なくともAlを含有していることが重要である。また、遮蔽層の極性はp型であることが好ましい。なぜならば、遮蔽層がp型でなければ発光層近傍のpn接合の位置が変化して発光効率が低下するからである。

【0044】上述の場合と同様に、n型AlGa<sub>0.5</sub>N遮蔽層を発光層106とn型層105との間に接するように設けてもよい。このn型層105は、レーザダイオードの場合にはn型光ガイド層に相当するが、発光ダイオードの場合にはn型クラッド層またはn型コンタクト層に相当する。そのようなn型AlGa<sub>0.5</sub>N遮蔽層の効果は、p型AlGa<sub>0.5</sub>N遮蔽層107とほぼ同様である。

【0045】次に、発光層と光ガイド層のバンドギャップ構造に関しては、図6と図4（a）においてそれらの構造が例示されている。本発明においては、図4（a）に示されているように光ガイド層と障壁層のエネルギーバンドギャップが異なってもよいし、図6に示されているようにそれらのバンドギャップが同じであってもよい。

【0046】ただし、図4（a）に示されているように光ガイド層に比べて障壁層のエネルギーバンドギャップが小さくされることによって、図6の場合に比べてサブバンドによる多重量子井戸効果が得やすくなり、かつ光ガイド層よりも障壁層の屈折率が大きくなって光閉じ込め効果が向上し、垂直横モードの特性（単酸化）が良好になる。特に、障壁層がAs、P、またはSbを含有していることから、その屈折率が大きくなる傾向が顕著であって好ましい。

【0047】上述のように光ガイド層に比べて障壁層の

エネルギーバンドギャップを小さくする発光層の構成は、図4(a)と(b)に示されているように2種類が可能である。すなわち、多重量子井戸構造を有する発光層が障壁層で始まって障壁層で終わる構成と井戸層で始まって井戸層で終わる構成のいずれであってもよい。また、遮蔽層を用いない場合の発光層のバンドギャップ構造は、図5(a)と(b)に示された状態になる。

【0048】(実施例2) 実施例2では、実施例1で述べられた多重量子井戸構造を有する発光層中の井戸層と障壁層の窒化物半導体材料が種々に変えられた。これらの井戸層と障壁層の窒化物半導体材料の組合せが表1に示されている。

【0049】

【表1】

		井戸層	
		InGa <sub>N</sub>	InAlGa <sub>N</sub>
障壁層	GaNAs	◎	○
	GaN <sub>P</sub>	◎	○
	GaN <sub>Sb</sub>	◎	○
	InGa <sub>NAs</sub>	◎	○
	InGa <sub>NP</sub>	◎	○
	InGa <sub>NSb</sub>	◎	○
	AlGa <sub>NAs</sub>	◎	○
	AlGa <sub>NP</sub>	◎	○
	AlGa <sub>NSb</sub>	◎	○
	InAlGa <sub>NAs</sub>	○	○
	InAlGa <sub>NP</sub>	○	○
	InAlGa <sub>NSb</sub>	○	○

【0050】表1において、○印は好ましい井戸層と障壁層の窒化物半導体材料の組合せを示し、◎印は特に好ましい組合せを示している。すなわち、本発明においては、窒化物半導体井戸層として、InGa<sub>N</sub>およびInAlGa<sub>N</sub>の井戸層が好ましく用いられ得る。これらの井戸層は、InとAlの含有率を最適化することによって、目的とする発光波長を得ることができる。井戸層がAlを含む場合には、そのAlの反応性の高さと結合力の強さによって高い成長温度でも結晶性が安定するので、N抜けを抑制することができる。ただし、井戸層がAlを含む場合には、そのエネルギーバンドギャップがAlの添加量に比例して大きくなるので、井戸層のバンドギャップより障壁層のバンドギャップが大きくなる関係を維持するように留意すべきである。このエネルギー関係を満たすInGa<sub>N</sub>井戸層の条件範囲はInAlGa<sub>N</sub>井戸層に比べて広いので、InGa<sub>N</sub>井戸層の方がより好ましい。他方、窒化物半導体障壁層としては、GaNAs、InGa<sub>NAs</sub>、AlGa<sub>NAs</sub>、InAlGa<sub>NAs</sub>

NA<sub>s</sub>などが用いられ得る。これらの障壁層において、Asの少なくとも一部がPまたはSbが置換されてもよい。ただし、3元系のGaNAsや4元系のInGa<sub>NAs</sub>さらにはAlGa<sub>NAs</sub>などの障壁層は、InAlGa<sub>NAs</sub>などの5元系の障壁層に比べて再現性が得られやすいという点において、より好ましい。

【0051】(実施例3) 実施例3においては、実施例1で述べられた発光層中の障壁層におけるAs、P、またはSbの含有量が種々に変えられた。

【0052】図7は、GaNAs障壁層中のV族元素におけるAsの割合と、井戸層におけるInの相分離(濃度分離)の割合との関係を示している。ここで、井戸層におけるInの濃度分離の割合とは、井戸層全体においてInの濃度分離によって生成されたIn含有率の高い領域の堆積分率を意味する。図7に示されているように、障壁層中のV族元素におけるAsの割合(含有率)が20%を超えれば、急激に井戸層におけるInの濃度分離の割合が増加する。この原因は、以下のように考えられる。Asの含有率が大きくなればGaNAs結晶はN含有率の高い六方晶系とN含有率の低い立方晶系(閃亜鉛鉱構造)とに結晶系分離を起してしまうので、N含有率の低い立方晶系が結晶粒界を形成し、N含有率の高い六方晶系と結晶系が異なることに起因して多くの結晶欠陥や粒界間の隙間を生じる。そして、障壁層において結晶粒界の割合が大きくなれば井戸層からNが抜けやすくなり、井戸層内でのIn偏析が顕著になって、その濃度分離効果を抑制することができなくなると考えられる。したがって、井戸層におけるInの濃度分離を抑制するためには、障壁層におけるAs含有率を20%以下にする必要がある。なお、井戸層におけるInの濃度分離の割合は5%以下であることが好ましく、2%以下であることがさらに好ましい。

【0053】図8と図9に示されているように、Asの代わりにPまたはSbを添加した場合にも同様な結果が得られた。図8と図9から明らかなように、障壁層中のPの含有率は25%以下であることが好ましく、Sbの含有率は15%以下であることが好ましい。なお、障壁層がAsを含有する場合と同様に、PまたはSbを含有する場合においても、井戸層におけるInの濃度分離の割合は5%以下であることが望ましく、2%以下であることがより望ましい。

【0054】図10は、GaNAs障壁層におけるAsの添加量(ドーパ量)と井戸層におけるInの相分離(濃度分離)の割合との関係を示している。図10に示されるように、障壁層におけるAsのドーパ量が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下のときにはAsがNよりも大きな原子半径を有することに起因する井戸層からのN抜けを抑制する効果が得られず、井戸層内においてIn偏析が起こって濃度分離が生じることを抑制できていないことがわかる。したがって、障壁層におけるAsのサイズ効果を



出現させるためには、そのドーパ量は $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上であることが必要とされる。なお、図11と図12に示されているように、障壁層においてAsの代わりにPまたはSbを添加した場合にも同様な結果が得られる。その場合に、障壁層におけるPの添加量としては $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上であることが必要とされ、Sbの添加量としては $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上であることが必要とされる。また、As、P、またはSbのいずれを障壁層に添加した場合においても、井戸層におけるInの濃度分岐の割合は5%以下であることが望ましく、2%以下であることがより望ましい。

【0055】(実施例4) 図13に示された実施例4においては、実施例1で用いられたサファイア基板100の代わりに主面としてC面（{0001}面）を有するn型GaN基板1300が用いられた。GaN基板を用いる場合、GaNバッファ層101を省略してn型GaN層102を直接GaN基板上に成長させてもよい。しかし、現在商業的に入手可能なGaN基板はその結晶性や表面モロロジーが十分に良好ではないので、これらの改善のためにGaNバッファ層101を挿入する方が好ましい。

【0056】この実施例4ではn型GaN基板1300を用いているので、n型電極111はGaN基板1300の裏面に形成することができる。また、GaN基板は劈開端面が非常に平滑であるので、共振器長が $300 \mu\text{m}$ のファブリ・ペロー共振器を低いミラー損失で作製することができる。なお、実施例1の場合と同様に、共振器長は、一般に $300 \mu\text{m}$ から $1000 \mu\text{m}$ の範囲内にあることが好ましい。共振器のミラー端面は、GaN基板1300の{1-100}面に対応するように形成される。また、レーザ素子の劈開とチップ分割は、前述の図2の場合と同様に基板側からスクライバによって行なわれる。さらに、レーザ共振器の帰還手法として、前述のDFBやTBRを用いることももちろん可能であり、さらにミラー端面に実施例1の場合と同様の誘電多層反射膜が形成されてもよいことも言うまでもない。

【0057】サファイア基板の代わりにGaN基板を用いることによって、エピタキシャルウェハ中にクラックを生じることなく、n型AlGaNクラッド層104とp型AlGaNクラッド層109の厚さを大きくすることができる。好ましくは、これらのAlGaNクラッド層の厚さは、 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$ の範囲内に設定される。これによって、垂直横モードの単峰化と光閉じ込め効率が改善され、レーザ素子の光学特性の向上とレーザしきい値電流密度の低減を図ることができる。

【0058】またGaN基板を用いて該井戸層を含む窒化物半導体レーザダイオード素子を作製すれば、その発光層中の結晶欠陥密度（たとえば貫通転位密度）が低減され、サファイア基板が用いられた実施例1に比べてレーザ発振しきい値電流密度が10%から20%だけ低減

する（図3参照）。

【0059】なお、本実施例における発光層に関するその他の条件については、実施例1の場合と同様である。ただし、発光層中の不純物濃度に関しては、障壁層中のみに不純物を添加する変調ドーパ、または井戸層に $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下の濃度の不純物を添加することによって、レーザしきい値電流密度が実施例1に比べて低減した。

【0060】(実施例5) 実施例5は、実施例1のサファイア基板100を図14に示された基板1400に置き換えたことを除いて、実施例1または実施例4と同様である。図14の基板1400は、順次積層された種基板1401、バッファ層1402、n型GaN膜1403、誘電体膜1404、およびn型GaN厚膜1405を含んでいる。

【0061】このような基板1400の作製においては、まず、種基板1401上にMOCVD法によって $550^\circ\text{C}$ の比較的低温でバッファ層1402を積層する。その上に、 $1050^\circ\text{C}$ の温度においてSiをドーピングしながら厚さ $1 \mu\text{m}$ のn型GaN膜1403が形成される。

【0062】n型GaN膜1403の形成されたウェハをMOCVD装置から取出し、スパッタ法、CVD法、またはEB蒸着法を利用して誘電体膜1404を厚さ $100 \text{nm}$ に形成し、リソグラフィ技術を用いてその誘電体膜1404が周期的なストライプ状パターンに加工される。これらのストライプはn型GaN膜1403の<1-100>方向に沿っており、この方向に直交する方向の<11-20>方向に $10 \mu\text{m}$ の周期的ピッチと $5 \mu\text{m}$ のストライプ幅とを有している。

【0063】次に、ストライプ状に加工された誘電体膜1404が形成されたウェハがHVPE装置内にセットされ、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のSi濃度と $350 \mu\text{m}$ の厚さを有するn型GaN厚膜1405が $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ の範囲内の成長温度において堆積される。

【0064】n型GaN厚膜1405が形成されたウェハはHVPE装置から取出され、その上に実施例1（図1参照）と同様のレーザダイオードが作製された。ただし、この実施例5においては、レーザダイオードのリッジストライプ部分1Aが図14のライン1410と1411の直上に位置しないように作製された。これは、貫通転位密度（すなわち結晶欠陥密度）の少ない部分にレーザ素子を作製するためである。このようにして作製された実施例5のレーザダイオードの特性は、基本的に実施例4の場合と同様であった。

【0065】なお、基板1400は、研磨機で種基板1401を除去した後にレーザダイオード用基板として用いられてもよい。また、基板1400はバッファ層1402以下のすべての層を研磨機で除去した後にレーザダイオード基板として用いられてもよい。さらに、基板1

400は、誘電体膜1404以下のすべての層を研磨機で除去した後にレーザダイオード用基板として用いられもよい。種基板1401が除去される場合、実施例4の場合と同様に、その基板の裏面上にn型電極111を形成することができる。なお、種基板1401は、レーザダイオードが作製された後に除去することも可能である。

【0066】上記の基板1400の作製において、種基板1401としては、C面サファイア、M面サファイア、A面サファイア、R面サファイア、GaAs、ZnO、MgO、スピネル、Ge、Si、6H-SiC、4H-SiC、3C-SiCなどのいずれが用いられてもよい。バッファ層1402としては、450℃から600℃の比較的低温で成長させられたGa<sub>1-x</sub>N層、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0<x<1)層、またはIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (0<y≤1)層のいずれが用いられてもよい。n型Ga<sub>1-x</sub>N膜1403の代わりとして、n型Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (0<z<1)膜が用いられ得る。誘電体膜1404としては、SiO<sub>2</sub>膜、SiN<sub>x</sub>膜、TiO<sub>2</sub>膜、またはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜のいずれが用いられてもよい。n型Ga<sub>1-w</sub>N厚膜1405の代わりとして、n型Al<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N (0<w≤1)厚膜であってもよく、その膜厚は20μm以上であればよい。

【0067】(実施例6) 実施例6においては、実施例1の光ガイド層の材料が種々変えられた。実施例1ではn型光ガイド層105とp型光ガイド層108の両方がGa<sub>1-x-y-z</sub>Nで形成されていたが、それらのGa<sub>1-x-y-z</sub>N層の窒素原子の一部がAs、P、またはSbのいずれかの元素で置換されてもよい。すなわち、Ga<sub>1-x-y-z</sub>As<sub>x</sub>PySb<sub>z</sub> (0≤x≤0.075、0≤y≤0.1、0≤z≤0.025、x+y+z>0)の光ガイド層を用いることができる。

【0068】従来のAlGa<sub>1-x</sub>Nクラッド層/GaN光ガイド層では、たとえクラッド層中のAl含有量を増大させたとしても、これらの互いの層の屈折率差が小さく、逆に格子不整合が増加してクラックの発生や結晶性の低下を招く。他方、AlGa<sub>1-x</sub>Nクラッド層とGa<sub>1-x-y-z</sub>As<sub>x</sub>PySb<sub>z</sub>光ガイド層との組合せの場合、As、P、またはSbによるバンドギャップにおける非常に大きなボウイング効果のために、従来に比べてわずかな添加量すなわちわずかな格子不整合でエネルギーギャップ差が大きくなるとともに屈折率差も大きくなる。このことによって、窒化物半導体レーザダイオード素子においてレーザ光を効率よく閉じ込めることができ、垂直横モード特性(単峰化)が向上する。

【0069】Ga<sub>1-x-y-z</sub>As<sub>x</sub>PySb<sub>z</sub> (0≤x≤0.075、0≤y≤0.1、0≤z≤0.025、x+y+z>0)光ガイド層における組成比率に関しては、その光ガイド層が発光層中の障壁層に比べてエネルギーバンドギャップが大きくなるようにx、y、およびz

の組成比を調整すればよい。たとえば、青紫色レーザ(波長410nm)素子中のGa<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>光ガイド層の場合にはAsの組成比率xが0.02以下、Ga<sub>1-y</sub>Py光ガイド層の場合にはPの組成比率yが0.03以下、そしてGa<sub>1-z</sub>Sb<sub>z</sub>光ガイド層の場合にはSbの組成比率zが0.01以下に調整される。なお、この実施例6における発光層に関する他の条件は、実施例1の場合と同様である。

【0070】(実施例7) 実施例7は、窒化物半導体発光ダイオード素子に関するものである。図15において、この実施例7の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的な縦断面図(a)と上面図(b)が示されている。

【0071】図15(a)の発光ダイオード素子は、C面(0001)サファイア基板1500、Ga<sub>1-x</sub>Nバッファ層1501(膜厚30nm)、n型Ga<sub>1-x</sub>N層コンタクト1502(膜厚3μm、Si不純物濃度1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>)、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N遮蔽層兼クラッド層1503(膜厚20nm、Si不純物濃度1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>)、発光層1504、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N遮蔽層兼クラッド層1505(膜厚20nm、Mg不純物濃度6×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>)、p型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層1506(膜厚200nm、Mg不純物濃度1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>)、透光性p型電極1507、パッド電極1508、n型電極1509、および誘電体膜1510を含んでいる。

【0072】ただし、このような発光ダイオード素子において、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N遮蔽層兼クラッド層1503は省略されてもよい。また、p型電極1507はNiまたはPdで形成され、パッド電極1508はAuで形成され、そしてn型電極1509はHf/Au、Ti/Al、Ti/Mo、またはHf/Alの積層体で形成され得る。

【0073】この実施例の発光層においては、井戸層と障壁層のそれぞれにSiH<sub>4</sub>(Si不純物濃度5×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>)が添加されている。なお、これらの井戸層と障壁層の窒化物半導体材料については、実施例2の場合と同様である。また、サファイア基板1500の代わりにGa<sub>1-x</sub>N基板を用いた場合は実施例4と同様の効果が得られ、図14に示す基板を用いた場合には実施例5と同様の効果が得られる。さらに、Ga<sub>1-x</sub>N基板は導電性基板であるので、図15(b)のように発光素子の片面側にp型電極1507とn型電極1509の両方を形成してもよいし、Ga<sub>1-x</sub>N基板の裏面上にn型電極を形成してエピタキシャル最外表面上に透光性p型電極を形成してもよい。

【0074】なお、この実施例7における発光層1504に含まれる井戸層と障壁層に関する条件は、実施例1の場合と同様である。

【0075】(実施例8) 実施例8は、窒化物半導体ス

ーパールミネッセントダイオード素子に関するものである。この発光素子における構成や結晶成長方法は実施例 1 の場合と同様である。なお、サファイア基板の代わりに GaN 基板を用いた場合には実施例 4 と同様の効果が得られ、図 14 に示された基板を用いた場合には実施例 5 と同様の効果が得られる。

【0076】(実施例 9) 実施例 9 においては、実施例 1 および 3～8 における発光層中の井戸層と障壁層に不純物 Si の代わりに  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  の C が添加された。このように、井戸層と障壁層において不純物 Si の代わりに C を用いた場合にも同様の効果が得られた。

【0077】(実施例 10) 実施例 10 においては、実施例 1 および 3～8 における発光層中の井戸層と障壁層に不純物として Si の代わりに  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  の Mg が添加された。このように、井戸層と障壁層において不純物として Si の代わりに Mg を用いた場合にも同様の効果が得られた。

【0078】(実施例 11) 実施例 11 においては、実施例 1 から 8 による窒化物半導体レーザを利用した光学装置が作製された。本発明によると例えば青紫色 (400～410 nm の発光波長) 窒化物半導体レーザを利用した光学装置では、従来の窒化物半導体レーザに比べてレーザ発振しきい値電流密度が低くて、高出力 (50 mW) でかつ高温雰囲気中で安定して動作し得るので、高密度記録再生用光ディスクの記録再生用光学装置に適している。

【0079】図 16 において、本発明によるレーザ素子 1 を含む光学装置の一例として、光ピックアップ装置 2 を含む光ディスク情報記録再生装置が模式的なブロック図で示されている。この光学情報記録再生装置において、レーザ光 3 は入力情報に応じて光変調器 4 で変調され、走査ミラー 5 およびレンズ 6 を介してディスク 7 上に記録される。ディスク 7 は、モータ 8 によって回転させられる。再生時にはディスク 7 上のビット配列によって光学的に変調された反射レーザ光がビームスプリッタ 9 を通して検出器 10 で検出され、これによって再生信号が得られる。これらの各要素の動作は、制御回路 11 によって制御される。レーザ素子 1 の出力については、通常は記録時に 30 mW であり、再生時には 5 mW 程度である。

【0080】本発明によるレーザ素子は上述のような光ディスク記録再生装置に利用され得るのみならず、レーザプリンタ、光の三原色 (青色、緑色、赤色) レーザダイオードによるプロジェクタなどに利用し得る。

【0081】(実施例 12) 実施例 12 においては、実施例 6 と 7 による窒化物半導体発光ダイオードが光学装置に利用された。一例として、本発明による発光層を用いた光の三原色 (赤色、緑色、青色) による発光ダイオードまたはスーパーミネッセントダイオードを含む白色光源を作製することができ、またそれらの三原色を用

いたディスプレイを作製することもできた。

【0082】従来の液晶ディスプレイに用いられていたハロゲン光源に代わってこのような本発明による発光素子を利用した白色光源を用いることによって、低消費電力でかつ高輝度のバックライトを得ることができる。すなわち、本発明の発光素子を利用した白色光源は、携帯ノートパソコン、携帯電話などによるマン・マシンインターフェイスの液晶ディスプレイ用バックライトとして利用でき、小型化されかつ高鮮明な液晶ディスプレイを提供することが可能になる。

【0083】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、量子井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造を有する発光層を含む窒化物半導体発光素子において、少なくとも In を含む窒化物半導体でその量子井戸層を形成しかつ障壁層に As、P、または Sb を含有させることにより、井戸層の相分離を抑制してその発光素子の色斑を防止して発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施例による窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図 2】 実施例によるレーザ素子のチップ分割を説明するための模式的な上面図である。

【図 3】 レーザ素子の井戸層数としきい値電流密度との関係を示すグラフである。

【図 4】 実施例による発光素子中のエネルギーバンドギャップ構造を模式的に示す図である。

【図 5】 実施例による発光素子中のエネルギーバンドギャップ構造の他の例を模式的に示す図である。

【図 6】 実施例による発光素子中のエネルギーバンドギャップ構造の他の例を模式的に示す図である。

【図 7】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における As の割合と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 8】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における P の割合と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 9】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における Sb の割合と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 10】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における As の添加量と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 11】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における P の添加量と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 12】 実施例によるレーザダイオードの GaNAs 障壁中の V 族元素における Sb の添加量と井戸層における In の相分離の割合との関係を示すグラフである。

【図 13】 実施例として窒化物半導体基板を用いたレ

19

ーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図14】 本発明による発光素子において利用され得る窒化物半導体厚膜基板を示す模式的な断面図である。

【図15】 (a)は本発明による発光ダイオード素子の一例を示す模式的な断面図であり、(b)は(a)のダイオード素子に対応する模式的な上面図である。

【図16】 本発明による発光素子が用いられた光学装置の一例としての光ディスク記録再生装置を示す模式的なブロック図である。

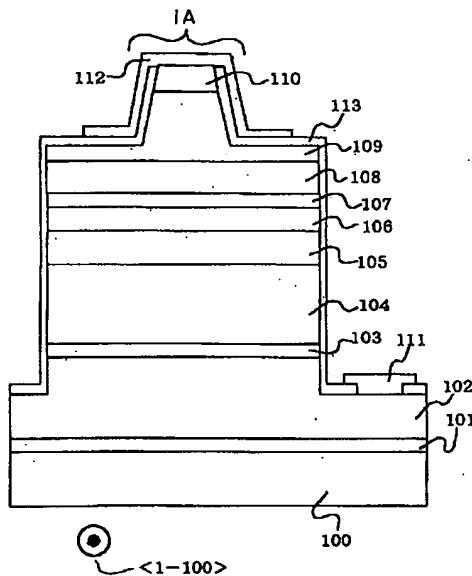
【符号の説明】

100, 1500 サファイア基板、101, 1501 GaNバッファ層、102, 1502 n型GaN層、103 n型In<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド防止層、104 n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層、105 n型GaN光ガイド層、106, 1504 発光層、107 p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N遮蔽層、108 p型GaN光

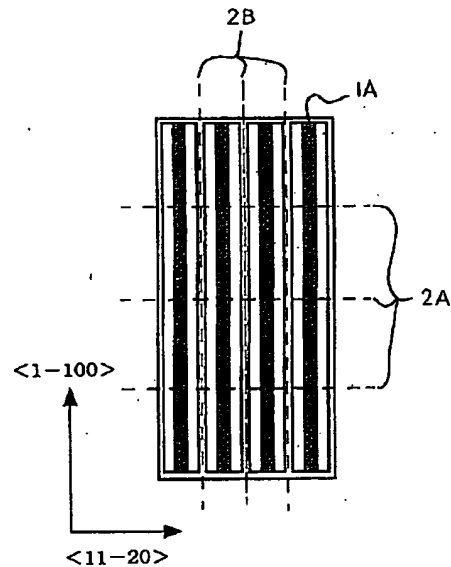
20

ガイド層、109 p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層、110, 1506 p型GaNコンタクト層、111, 1509 n型電極、112 p型電極、113 SiO<sub>2</sub>誘電体膜、1300 n型GaN基板、1400 基板、1401 種基板、1402 バッファ層、1403 n型GaN膜、1404, 1510 誘電体膜、1405 n型GaN厚膜、1503 n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N遮蔽層兼クラッド層、1505 p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N遮蔽層兼クラッド層、1507 透光性p型電極、1508 パッド電極、1A リッジストライプ部、2A 劈開面、2B チップ分割面、1 レーザ素子、2 光ピックアップ、3 レーザ光、4 光変調器、5 走査ミラー、6 レンズ、7 ディスク、8 モータ、9 ビームスプリッタ、10 光検出器、11 制御回路。

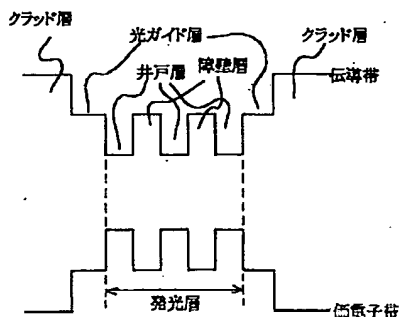
【図1】



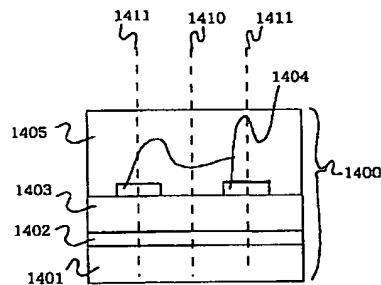
【図2】



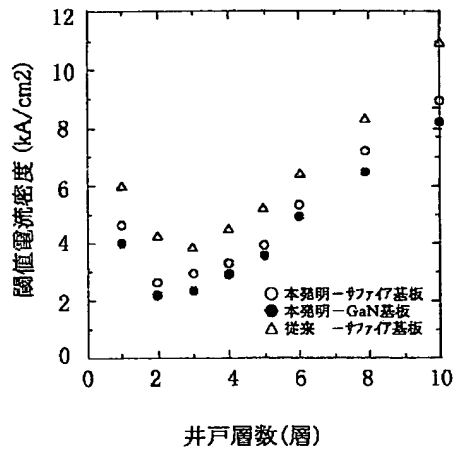
【図6】



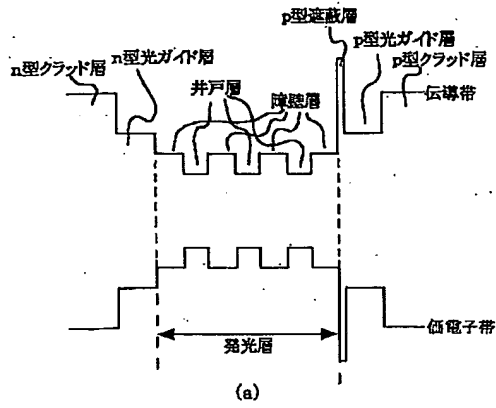
【図14】



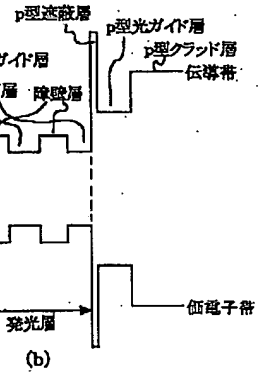
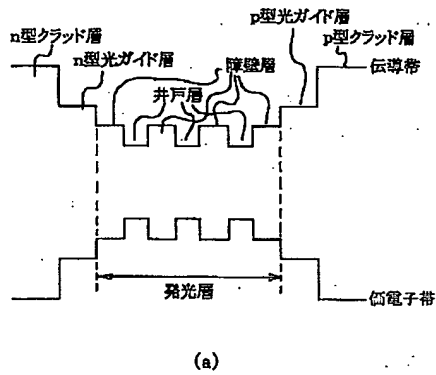
【図3】



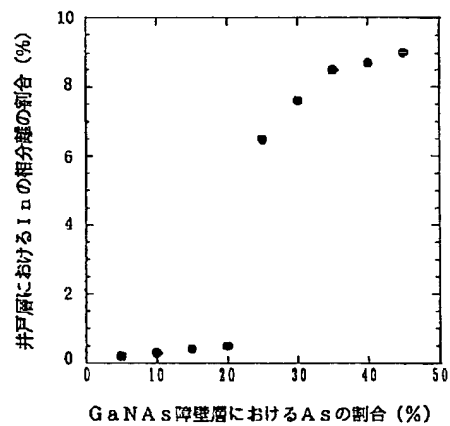
【図4】



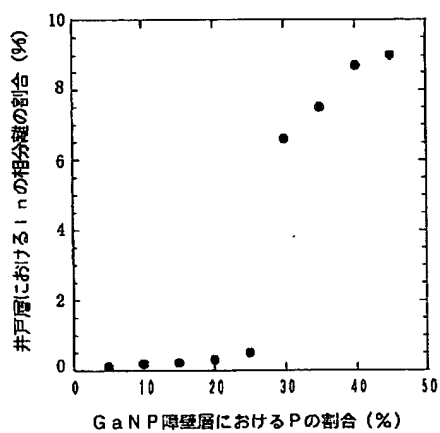
【図5】



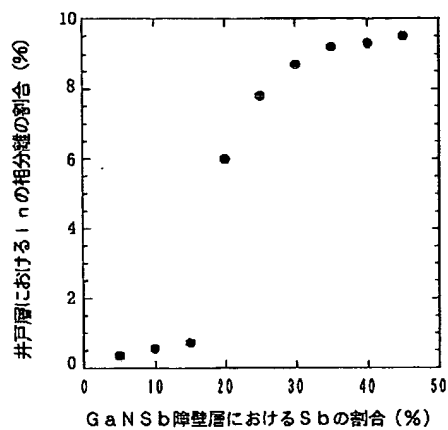
【図7】



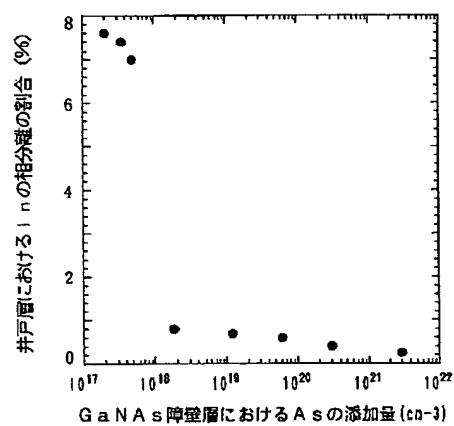
【図 8】



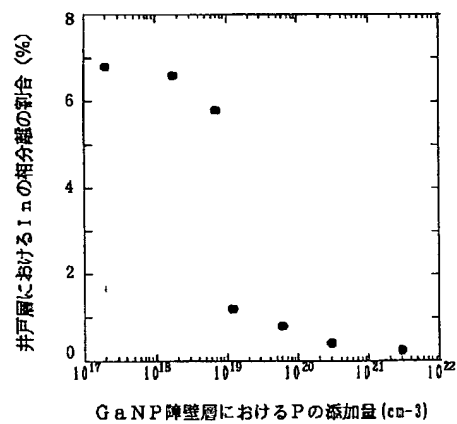
【図 9】



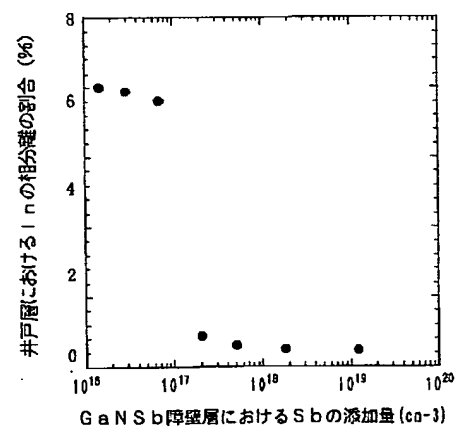
【図 10】



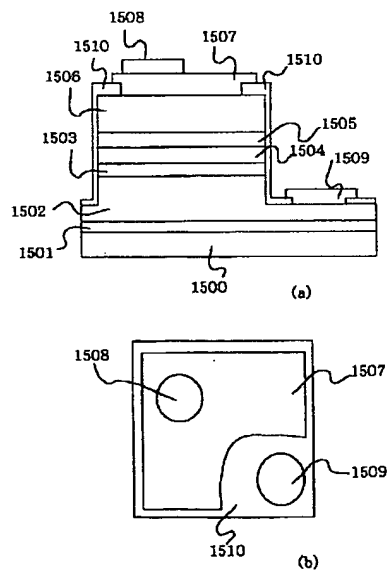
【図 11】



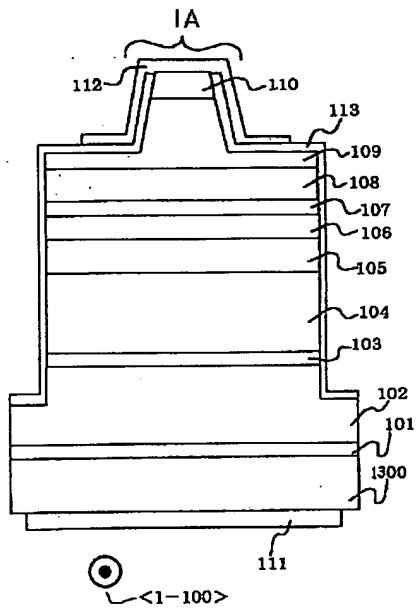
【図 12】



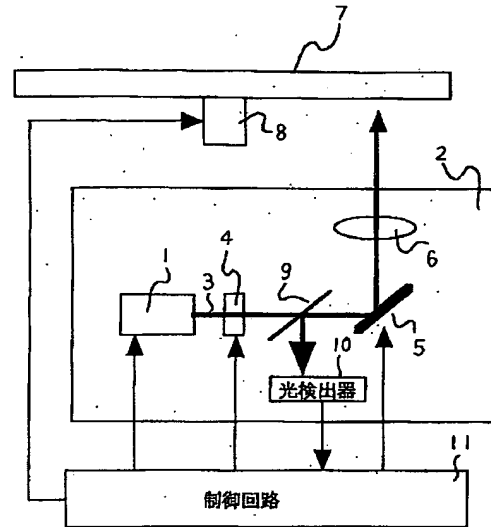
【図 15】



【図13】



【図16】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AA03 BE11 BE13 DB08 EB01  
 ED06 EF05 HA02  
 5F041 AA03 AA05 CA05 CA34 CA40  
 CA46 CA53 CA54 CA56 CA57  
 CA65 CA66 CA82 CA83 CA88  
 CA92 FF01 FF16  
 5F073 AA13 AA45 AA51 AA55 AA74  
 CA07 CB07 CB15 CB19 DA05  
 DA25 EA23 EA29